

Przemysław FLAK, Roman CZYBA
Politechnika Śląska

SYSTEM DETEKCJI ORAZ PRZECIWDZIAŁANIA BEZZAŁOGOWYM STATKOM POWIETRZNYM PRZY UŻYCIU TECHNIK WALKI RADIO-ELEKTRONICZNEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono przegląd metod wykrywania Bezzałogowych Statków Powietrznych (BSP), a także zaproponowano własne rozwiązanie w oparciu o pasywną detekcję sygnału radiowego. Praca zawiera koncepcję systemu antydronowego z rozproszoną detekcją wykorzystującego ideę radia definiowanego programowo oraz przybliża opracowany sensor.

DRONE DETECTION AND NEUTRALISATION SYSTEM USING ELECTRONIC WARFARE TECHNOLOGIES

Summary. This paper presents an overview of unmanned aerial vehicle detection methods and provides a customised solution based on passive radio signal detection. The article outlines the idea of an anti-drone system with distributed detection based on software-defined radios and highlights the developed sensor.

1. Wstęp

Bezzałogowe Statki Powietrzne (BSP) zwane również dronami zrewolucjonizowały wiele gałęzi przemysłu i znacząco wpłynęły na różne aspekty życia codziennego. Szeroka dostępność oraz niska cena w porównaniu z możliwościami tych urządzeń skłania niestety do wykorzystania ich również w nieuprawniony sposób poprzez naruszanie prywatności innych osób, działalność terrorystyczną, przemyt narkotyków w obszarach granicznych. Wraz z dopuszczeniem BSP do ogólnodostępnego użytku cywilnego, liczba incydentów z ich udziałem ciągle wzrasta. W związku z tym obecnie na rynku zaczęły pojawiać się rozwiązania z zakresu systemów antydronowych. Ich głównym zadaniem jest przeciwdziałanie BSP poprzez wykrywanie, zagłuszanie pasma radiowego, przejęcie kontroli nad intruzem oraz ich zwalczanie metodami kinetycznymi lub energią skierowaną na BSP w postaci impulsu elektromagnetycznego.

2. Przegląd metod detekcji BSP

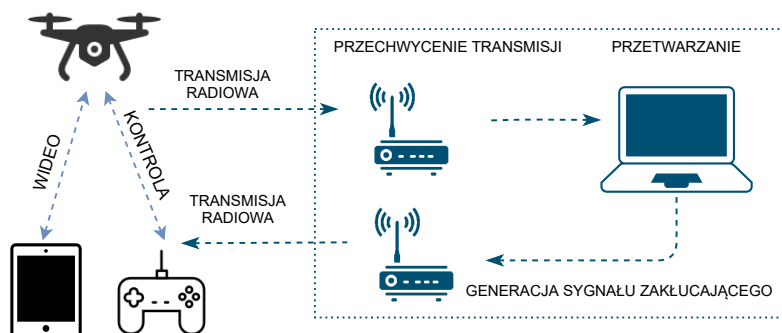
W celu opracowania systemu detekcji i przeciwdziałania BSP konkurencyjnego w stosunku do istniejących systemów, konieczne jest dokonanie przeglądu dostępnych technologii i metod detekcji platform latających [1]. Stosowane technologie bazują na danych pochodzących z różnych sensorów i w związku z tym wyróżnia się następujące metody detekcji BSP:

1. Pasywne metody radiolokacji (*ang. RF - Radio Frequency*): Metoda znana jest jako pasywne nasłuchiwanie, a jej istotą jest wykrycie sygnału komunikacji radiowej RF pomiędzy BSP a operatorem naziemnym. Platforma latająca komunikuje się z kontrolerem w określonym paśmie częstotliwości. Po zidentyfikowaniu tego pasma istnieje duże prawdopodobieństwo, że w zasięgu wykrywania znajduje się BSP. Mankamentem tej metody jest zakres częstotliwości radiowych, który w środowisku miejskim w dużym stopniu wykorzystywany jest przez urządzenia Wi-Fi, co utrudnia skanowanie i natychmiastowe przechwytywanie sygnału.
2. Aktywne metody radiolokacji (radary): System wysyła sygnał radiowy, a następnie nasłuchuje jego odbitego komponentu (echa). Metoda aktywna zapewnia większy zasięg detekcji, ale posiada również pewne ograniczenia. Radar nie może odróżnić BSP od przeszkód, jeśli BSP znajduje się w zawisie lub porusza się z małą prędkością. Również częściowe nakładanie się widma pomiędzy radarem a falami radiowymi może powodować zakłócenia sygnału i słabą wydajność systemu. Dlatego zdecydowanie zaleca się łączenie aktywnej metody radiolokacji z innymi technologiami. W celu poprawy szczegółowości detekcji radarowej i dokładności lokalizacji często stosowany jest rozszerzony filtr Kalmana.
3. Metody akustyczne: Istota działania polega na identyfikacji charakterystycznej sygnatury dźwiękowej generowanej przez ruch obrotowy jednostek napędowych BSP. Do jej detekcji wykorzystywane są techniki głębokiego uczenia bazujące na sieciach neuronowych. Sensor akustyczny w odróżnieniu od radaru nie wymaga bezpośredniej linii widzenia obiektu do poprawnej pracy.
4. Metody wizyjne: Spośród dostępnych na rynku rozwiązań ciekawym wydaje się zintegrowany system dwóch kamer (dualny): światła dziennego i jednej z dwóch technologii – termowizyjnej lub pracującej w bliskiej podczerwieni NIR (*ang. Near-InfraRed*). Taki dualny system wizyjny wzbogacony o funkcjonalność PTZ (*ang. Pan-Tilt-Zoom*), cechuje duży zasięg działania w przypadku kamery termowizyjnej chłodzonej. Powszechnie stosowanym zestawem standardowych parametrów, dających wymierny pogląd o pomiarze odległości wykonanym przez system wizyjny, jest DRI (*ang. Detection, Recognition, Identification*) znane jako kryterium Johnson'a.

3. Zasada działania proponowanego systemu

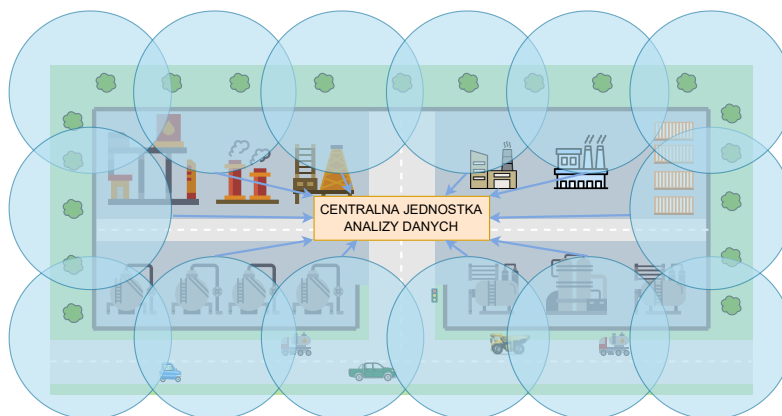
Przedmiotem prowadzonych badań jest opracowanie systemu przeciwdziałania komercyjnym BSP przy zastosowaniu technik rozpoznania radioelektronicznego oraz zakłócania fal radiowych. Metodę tę wybrano spośród wcześniej wspomnianych z uwagi na bardzo niewielki odsetek przypadków, w których drony nie wykorzystują łączności radiowej z operatorem, bądź sygnału GPS. Ta metoda, jako jedyna daje dodatkowo możliwość wykrycia operatora oraz ostrzeżenia o zagrożeniu jeszcze przed startem BSP. Zasada działania systemu przedstawiona jest na rysunku 1.

Pasywna metoda detekcji wykorzystywana w systemie pozwala na prace urządzenia bez żadnych licencji, co w połączeniu z niewielkim rozmiarem sensora umożliwia budowę rozproszonego systemu detekcji. W koncepcji zobrazowanej na rysunku 2, wiele połączonych w sieć urządzeń równolegle skanuje spektrum częstotliwości i przesyła dane do jednostki centralnej poprzez sieć w celu dalszej obróbki. System ten



Rys. 1. Zasada działania systemu anti-dronowego opartego na przechwytywaniu i zakłócaniu transmisji radiowej

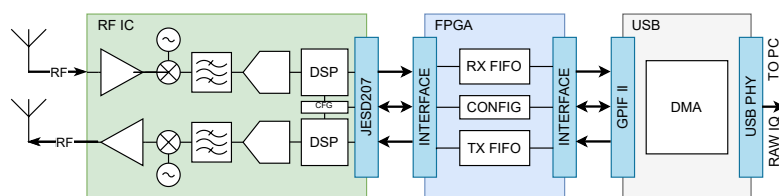
ma przewagę nad układem z detektorem centralnym przy ochronie obiektów wielkopowierzchniowych oraz w terenie zabudowanym. Aby idea ta znalazła praktyczne zastosowanie koszt pojedynczego sensora musi zostać zminimalizowany. Dla osiągnięcia tego celu postanowiono zastosować komercyjnie dostępne układy SDR (*ang. Software Defined Radio*), a prace skupić na rozwoju algorytmów przetwarzania sygnałów wewnątrz struktury FPGA (*ang. Field Programmable Logic Array*).



Rys. 2. Koncepcja rozproszonego systemu detekcji z centralną jednostką analizy danych oraz zaznaczeniem zasięgu poszczególnych sensorów

4. Aktualny stan prac i opis wyników

Koncepcja radia definiowanego programowo nie jest nowa, jednakże dopiero postęp technologiczny w ostatnich latach sprawił, że urządzenia te są komercyjnie dostępne, a cena pozwala szerokiej społeczności na ich użytkowanie. Architektura układu SDR opiera się na trzech elementach: końcówce analogowej, układzie FPGA oraz interfejsie pośredniczącym w przesyłaniu danych w kierunku komputera PC. Końcówka analogowa zawiera wszystkie niezbędne elementy do skutecznego przetworzenia sygnału radiowego na postać cyfrową. Układy SDR zazwyczaj wyposażone są w interfejs USB który służy do transferu zapisu cyfrowego sygnału radiowego w formacie IQ (*ang. In-Phase and Quadrature*) do późniejszej analizy np. w środowisku Matlab. Zadanie układu FPGA w tym przypadku jest zminimalizowane jedynie do translacji interfejsów oraz buforowania próbek. Schemat blokowy takiego modułu przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Schemat blokowy układu radia definiowanego programowo

Już na wstępnym etapie prac zauważono, że interfejs USB jest poważnym ograniczeniem dla łańcuchu przetwarzania sygnałów. Nie tylko wprowadza on opóźnienie, ale także nie pozwala wykorzystać pełnej możliwości obserwacji spektrum jakie oferuje końcówka analogowa. Wybrany do realizacji układ posiada możliwość obserwacji do 96 MHz w paśmie natychmiastowym, co ograniczone jest do 40 MHz w komercyjnie dostępnej realizacji z powodu limitu prędkości interfejsu USB [2].

Podstawą obecnie realizowanej pracy jest więc zwiększenie udziału układu FPGA w procesie przetwarzania sygnałów na pokładzie układu SDR. Na obecnym etapie zaimplementowano, przy użyciu języka opisu sprzętu (*ang. Hardware Description Language*), algorytmy filtrowania oraz FFT (*ang. Fast Fourier Transform*), co stanowi pierwszy krok do dalszej analizy sygnałowej. Dodatkowo, dzięki sprzętowej implementacji, udało się także znacznie przyspieszyć proces przestrajania syntezy częstotliwości. Pozwoliło to na uzyskanie funkcjonalności szerokopasmowego analizatora widma z pasmem natychmiastowym 96 MHz i czasem przestrajania ok $35 \mu\text{s}$. Parametry te są wyraźnie lepsze od prezentowanych rozwiązań w urządzeniach podobnej klasy cenowej.

Weryfikację zaproponowanego sensora przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych w odniesieniu do profesjonalnych analizatorów widma oraz innych układów SDR. Uzyskana dokładność obrazowania na poziomie 0.5 dB pozwoliła na skuteczną adaptację metod detekcji zaproponowanych przez innych autorów. Obecnie zbudowano niezależną bazę sygnatur radiowych dla różnych modeli BSP, oraz prowadzone są prace nad stworzeniem własnych algorytmów, które pozwolą w pełni wykorzystać akcelerację sprzętową układu FPGA.

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono koncepcję rozproszonego systemu detekcji BSP przy użyciu komercyjnie dostępnych układów radia definiowanego programowo. Modyfikacja standardowego oprogramowania wbudowanego tych układów pozwoliła na polepszenie parametrów, takich jak pasmo natychmiastowe czy czas przestrajania. Kolejnym etapem jest praca nad metodami zakłócania sygnałów BSP w celu ich neutralizacji.

LITERATURA

1. Dudczyk J., Czyba R., Skrzypczyk K.: Multi-Sensory Data Fusion in Terms of UAV Detection in 3D Space. *SENSORS*, 22(12), 2022, n. 4323.
2. Flak P.: Drone Detection Sensor With Continuous 2.4 GHz ISM Band Coverage Based on Cost-Effective SDR Platform. *IEEE ACCESS*, vol. 9, 2021, p. 114574–114586.